

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

**Návrh dekompenzačních tlumivek pro Siemens s.r.o., závod**  
**Elektromotory Mohelnice**  
**Design of decompensation chokes for Siemens, factory**  
**Electric motors Mohelnice**

**2019**

**Jiří Nimrichter**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jiří Nimrichter**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika  
Téma: **Návrh dekompenzačních tlumivek pro Siemens s.r.o., závod  
Elektromotory Mohelnice**  
**Design of decompensation chokes for Siemens, factory Electric motors  
Mohelnice**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor kompenzace jalového výkonu
2. Možnosti technického řešení kompenzace jalového výkonu
3. Návrh dekompenzačních tlumivek pro závod Elektromotory Mohelnice

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Hradílek, Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí. Montanex a.s., Ostrava, 2008.
2. Pauza, J., Krychtánek, Z.: Elektrické stanice. SNTL Praha, 1989.
3. Santarius P.: Elektrické stanice a vedení. Skripta VŠB Ostrava, 1993.
4. Horák, K.: Výpočet elektrických sítí. SNTL Praha, 1980.
5. Technická dokumentace závodu Elektromotory Mohelnice.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

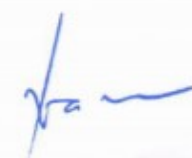
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Dr. Ing. Zdeněk Medvec**

Datum zadání: 01.09.2017

Datum odevzdání: 30.04.2019




  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry

  
prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
děkan fakulty

## **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 30. dubna 2019



Podpis studenta

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Dr. Ing. Zdeňku Medvecovi za poskytnutí podkladů k bakalářské práci a za odborné rady k zadané problematice. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Petru Riedlovi ze společnosti Siemens elektromotory Mohelnice s.r.o. za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi poskytl při zpracování této bakalářské práce. Také bych chtěl poděkovat celému pedagogickému sboru Fakulty elektrotechniky a informatiky Vysoké školy Báňské - Technická univerzita v Ostravě za získání odborných znalostí během mého studia.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá kompenzací jalového výkonu. Teoretická část popisuje základní pojmy a možnosti kompenzování účinníku. Vedle kompenzačních kondenzátorů je zvláštní pozornost věnována ochranným tlumivkám, kvůli jejich použití v budoucnu a dekompenzačním tlumivkám. Ty jsou dále použity v praktické části, která je zaměřena na návrh skupinové a individuální dekompenzace pro firmu Siemens, s.r.o., elektromotory Mohelnice. Podrobně jsou uvedeny výpočty kapacit a kapacitních výkonů, které je potřebné dekompenzovat.

## **Klíčová slova**

Kompenzace, jalový výkon, účinník, kondenzátor, tlumivka, dekompenzace, kapacita, kapacitní výkon.

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with reactive power compensation. The theoretical part describes basic terms and possibilities of power factor compensation. In addition to compensating capacitors, special attention is paid to protective chokes, due to their future use and decompensation chokes. These are further used in the practical part, which is focused on the design of group and individual decompensation for Siemens, s.r.o., Mohelnice electric motors. More detailly are described calculations of capacities and capacitances, which need to be decomposed.

## **Key words**

Compensation, reactive power, power factor, capacitor, reactor, decompensation, capacity, capacitance.

# Obsah

<b>Seznam použitých symbolů a značek.....</b>	<b>9</b>
<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>10</b>
<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>11</b>
<b>Úvod.....</b>	<b>12</b>
<b>1. Úvod ke kompenzaci jalového výkonu.....</b>	<b>13</b>
1.1 Základy kompenzování.....	13
1.2 Pojem účiník.....	15
1.3 Důsledky špatného účiníku.....	15
<b>2. Možnosti kompenzace jalového výkonu.....</b>	<b>17</b>
2.1 Sériová kompenzace.....	17
2.2 Paralelní kompenzace.....	18
<b>3. Principy kompenzace.....</b>	<b>20</b>
3.1 Individuální kompenzace.....	20
3.2 Skupinová kompenzace.....	20
3.3 Centrální kompenzace.....	21
3.4 Kombinovaná kompenzace.....	22
<b>4. Kompenzační prostředky.....</b>	<b>23</b>
4.1 Rotační kompenzační zařízení.....	23
4.2 Statické kompenzační zařízení.....	24
4.2.1 Výkonové kondenzátory.....	24
4.2.1.1 Kondenzátory pro nízké napětí.....	25
4.2.1.2 Kondenzátory pro vysoké napětí.....	25
4.2.2 Tlumivky.....	26
4.2.2.1 Ochranné.....	26
4.2.2.2 Filtrační.....	30
4.2.2.3 Dekompenzační.....	30
<b>5. Dekompenzace jalové energie pro firmu Siemens.....</b>	<b>31</b>
5.1 Zadání.....	31
5.1.1 Charakteristika závodu.....	32

5.1.1 Výchozí stav, schéma zapojení trafostanic .....	33
5.2 Rozbor – Analýza příčin a důvodů nevyžádané dodávky jalové energie do veřejné sítě.....	34
5.2.1 Energetický regulační věštník .....	34
5.2.2 Popis kabelu AXEKCY.....	35
5.2.3 Výpočet kapacit a kapacitního výkonu .....	36
5.3 Vypracování – Návrh řešení způsobu dekompenzace nevyžádané dodávky jalové energie.....	37
5.4 Shrnutí – Stav po kompenzaci.....	46
<b>6. Závěr .....</b>	<b>47</b>
<b>Literatura.....</b>	<b>48</b>



## Seznam použitých symbolů a značek

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
$D$	VA	Deformační výkon
$I$	A	Proud
$I_{\xi}$	A	Činný proud
$I_C$	A	Kapacitní proud
$I_K$	A	Kompenzační proud
$I_j$	A	Jalový proud
$P$	W	Činný výkon
$P_{ztr}$	W	Ztrátový výkon
$\Delta P$	W	Ztráty
$Q$	VAr	Jalový výkon
$Q_C$	VAr	Kapacitní výkon
$Q_L$	VAr	Induktivní výkon
$R$	$\Omega$	Odpor
$S$	VA	Zdánlivý výkon
$U$	V	Napětí
$U_f$	V	Fázové napětí
$U_S$	V	Sdružené napětí
$\Delta U$	V	Úbytek napětí
$X_C$	$\Omega/\text{km}$	Kapacitní reaktance
$X_L$	$\Omega/\text{km}$	Induktivní reaktance
$X_{LC}$	$\Omega/\text{km}$	Reaktance chráněné kompenzace
$\cos\varphi$	-	Účíník
$f$	Hz	Frekvence
$f_r$	Hz	Rezonanční frekvence
$k$	-	Koeficient kompenzace
$p$	-	Činitel ztlumení
$\lambda$	-	Opravdový účíník
$\omega$	$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$	Úhlová rychlost

## Seznamku obrázků

<i>Obr. 1.1 Trojúhelník výkonů .....</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 1.2 Grafické znázornění výkonů včetně výkonu deformačního .....</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 2.1 Schéma sériové kompenzace.....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 2.2 Fázorový diagram paralelní kompenzace .....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 2.3 Schéma paralelní kompenzace.....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 2.4 Fázorový diagram paralelní kompenzace .....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 3.1 Individuální kompenzace .....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 3.2 Skupinová kompenzace.....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 3.3 Centrální kompenzace .....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 4.1 V-křivky synchronního stroje.....</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 4.2 Kondenzátory pro NN.....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 4.3 Kondenzátory pro VN.....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 4.4 RLC rezonanční obvod .....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 4.5 Dekompenzační tlumivka .....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 5.1 Schéma kabelových rozvodů Siemens elektromotory Mohelnice.....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 5.2 Pohled na závod z ptáčí perspektivy.....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 5.3 Schéma zapojení trafostanic závodu Siemens .....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 5.4 Popis kabelu AXEKCY .....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 5.5 Regulátor NOVAR 1114.....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 5.6 Dekompenzační rozvaděč pro skupinovou dekompenzaci v rozvodně TAI.....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 5.7 Zapojení jednoho kompenzačního stupně .....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 5.8 Schéma trafostanice se skupinovou dekompenzací.....</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 5.9 Zapojení trafostanic s individuální dekompenzací .....</i>	<i>46</i>

## Seznam tabulek

<i>Tab. 4.1 Maximální obsahy harmonických napětí a proudu kompenzačních článků dle ČSN50160.....</i>	<i>29</i>
<i>Tab. 5.1 Kabelové vývody z rozvodny TAI (SME Ostrava 110/22kV) do rozvoden SIEMENS Mohelnice .....</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 5.2 Katalogové hodnoty kabelu AXEKCY 22kV společnosti NKT.....</i>	<i>35</i>
<i>Tab. 5.3 Výpočty kapacit a kapacitních výkonů jednotlivých linek.....</i>	<i>37</i>
<i>Tab. 5.4 Dekompenzační tlumivky firmy DNA Energie.....</i>	<i>38</i>
<i>Tab. 5.5 Pojistkové odpínače firmy OEZ .....</i>	<i>39</i>
<i>Tab. 5.6 Nožové pojistky firmy OEZ .....</i>	<i>39</i>
<i>Tab. 5.7 Stykače pro kompenzaci firmy Benedikt.....</i>	<i>40</i>
<i>Tab. 5.8 Vybrané komponenty pro dekompenzační rozvaděč TAI-DEK .....</i>	<i>42</i>
<i>Tab. 5.9 Nabíjející výkony jednotlivých linek.....</i>	<i>43</i>
<i>Tab. 5.10 Kompenzační rozvaděče ZEZ-Silko .....</i>	<i>43</i>
<i>Tab. 5.11 Kompenzační rozvaděče Rap-energo .....</i>	<i>44</i>
<i>Tab. 5.12 Komponenty pro dekompenzační rozvaděč TB1 pro výkon 65,14 kVar .....</i>	<i>44</i>
<i>Tab. 5.13 Komponenty pro dekompenzačního rozvaděč TC1 pro výkon 82,11 kVar .....</i>	<i>44</i>
<i>Tab. 5.14 Komponenty pro dekompenzační rozvaděč TE3 pro výkon 178,31kVar.....</i>	<i>45</i>
<i>Tab. 5.15 Komponenty pro dekompenzační rozvaděč TE4 pro výkon 135,21kVar.....</i>	<i>45</i>

# Úvod

Od druhé poloviny 20. století, se začaly zvyšovat nároky na kvalitu elektrické energie, která je využívána v každodenním životě například v motorech, světelných zdrojích a elektrických pecích. Rozšiřováním tohoto využití začal být kladen důraz na lepší ekonomické využití a tím i účinník, který je pomocí kompenzace vylepšen na efektivnější hodnotu.

Tato práce se zabývá kompenzací jalové energie, nejprve z teoretického pohledu a následně řešením problému z praxe. Praktická část se odehrává ve firmě Siemens Elektromotory Mohelnice s.r.o. a je zaměřená na výpočet velikosti dodané jalové energie zpět do veřejné sítě a následné řešení dekompenzace.

První kapitola teoretické části je zaměřena na podstatu a základní informace kompenzování, jako je jalový výkon, pojem účinník, deformační výkon a důvody, kvůli kterým je kompenzace důležitá.

Druhá kapitola popisuje dvě základní možnosti, jakými lze kompenzovat. Je to sériová a paralelní kompenzace.

Třetí kapitola je soustředěna na principy, jakými lze kompenzovat a na výhody a nevýhody těchto typů kompenzace, jako je individuální, skupinová, centrální a kombinovaná.

Čtvrtá kapitola je zaměřena na konkrétní přístroje a stroje jakými lze účinník kompenzovat. Zvlášť na výkonové kompenzátory, které jsou nejvíce využívány pro praktickou kompenzaci ve většině průmyslových podniků a ochranné tlumivky kterou jsou používány při kompenzování nelineárního zatížení.

Poslední kapitola je o praktickém řešení dekompenzace v Mohelnickém závodě Siemens s.r.o. Důkladně je rozebrán systém kabelových vedení v závodě, jsou vypočteny kapacity a kapacitní výkony. Následně jsou vybrány vhodné komponenty pro dekompenzaci.

# 1. Úvod ke kompenzaci jalového výkonu

Podstatou této kapitoly je vysvětlit základní principy jalového výkonu a také vysvětlit pojem účinník. Dále pak jsou rozebrány důvody, proč je kompenzace důležitá. Tyto základy jsou potřeba k pochopení celé problematiky kompenzace. Potřeby zlepšení účinníku můžeme dělit podle potřeb ekonomických, energetických a bezpečnostních.

## 1.1 Základy kompenzování

Zde je vysvětlení základních pojmů. Jalový výkon a činný výkon jsou složky zdánlivého výkonu. Jalový výkon slouží pro magnetizaci elektrického obvodu, pomocí níž je přenášen činný výkon. Tento přenesený činný výkon můžeme dále transformovat na různé druhy energie, kupříkladu světlo, teplo atd. Dále je jalový výkon nezbytnou součástí pro chod strojů, jako jsou třeba motory nebo transformátory.

Vztah pro zdánlivý výkon v jednofázové síti můžeme zapsat jako

$$S_1 = U_f \cdot I \quad (V, A; V, A) \quad (1.1)$$

Dále pak činný výkon

$$P_1 = S_1 \cdot \cos\varphi = U_f \cdot I \cdot \cos\varphi = U_f \cdot I_{\xi} \quad (W; VA, -, V, A) \quad (1.2)$$

Jalový výkon

$$Q_1 = S_1 \cdot \sin\varphi = U_f \cdot I \cdot \sin\varphi = U_f \cdot I_j \quad (VAR; VA, -, V, A) \quad (1.3)$$

Pro trojfázovou soustavu platí:

Zdánlivý výkon:

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \quad (VA; V, A) \quad (1.4)$$

Činný výkon

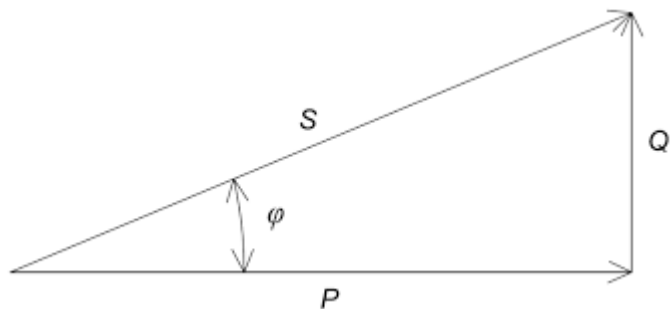
$$P = S \cdot \cos\varphi = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (W; VA, -, V, A) \quad (1.5)$$

Jalový výkon

$$Q = S \cdot \sin\varphi = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin\varphi = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_j \quad (VAR; V, A, -, V, A) \quad (1.6)$$

Zdánlivý výkon dále můžeme zapsat rovnicí:

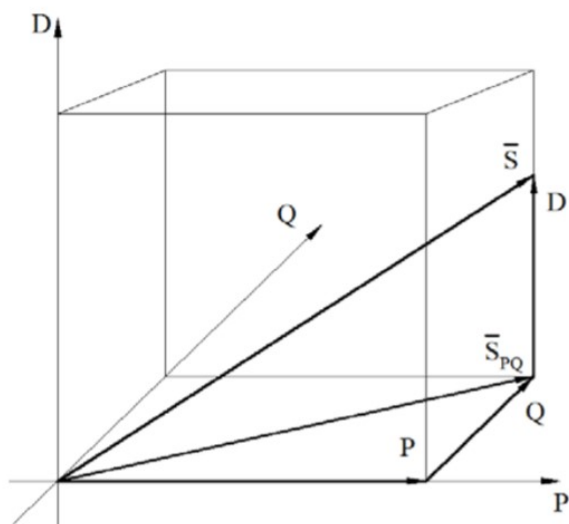
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (VA, W, VAr) \quad (1.7)$$



Obr. 1.1 Trojúhelník výkonů

Ovšem pro dosažení větší přesnosti v praxi přidáváme ještě tzv. deformační výkon  $D$  [1] zastupující vliv harmonických proudů a napětí.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad (VA, W, VAr, VA) \quad (1.8)$$



Obr. 1.2 Grafické znázornění výkonů

## 1.2 Pojem účiník

Při přenosu elektrické energie dochází k vytváření elektromagnetického pole, ve většině případů má toto pole induktivní charakter. Ať už je charakter induktivní nebo kapacitní, je mezi proudem a napětím fázový posun, který se značí  $\varphi$ . Pro vyjádření účinnosti použijeme funkci  $\cos \varphi$ .

Pokud budeme respektovat i harmonické proudy a napětí, tak opravdový účiník  $\lambda$  [1] získáme poměrem skutečného činného výkonu a zdánlivého výkonu, tedy:

$$\lambda = \frac{P}{S} \quad (1.9)$$

## 1.3 Důsledky špatného účiníku

- Snížení využití stávajících komponentů v elektrických rozvodech – nižší přenesený činný výkon.
- Vyšší cena všech komponentů, které jsou dimenzovány podle zdánlivého výkonu, například transformátory, spínací zařízení, přístroje pro ochranu, měřicí přístroje
- Zvýšení ztrát v rozvodech elektrické energie - ztrátový výkon je úměrný kvadrátu jalového výkonu.
- Vyšší úbytek napětí v rozvodech elektrické energie – zvýšení kolísání napětí v elektrizační soustavě.
- Všechny tyto důvody také ovlivňují cenu spotřebované elektrické energie, protože distribuční firmy pokutují odběr elektrické energie se špatným účiníkem.

Pomocí rovnice pro ztrátový výkon můžeme vyjádřit zvýšení ztrát v rozvodu

$$P_{ztr} = 3 \cdot R \cdot I^2 = \frac{R}{U^2} \cdot 3 \cdot U^2 \cdot I^2 = \frac{R}{U^2} \cdot S^2 = \frac{R}{U^2} \cdot (P^2 + Q^2) \quad (W) \quad (1.10)$$

Uvážíme-li činnou i jalovou složku proudu, pak:

$$I^2 = I_c^2 + I_j^2 = I^2 \cdot \cos^2 \varphi + I^2 \cdot \sin^2 \varphi \quad (1.11)$$

Ztráty vyvolané proudem

$$\Delta P = 3 \cdot R \cdot I^2 = 3 \cdot R \cdot I^2 \cdot \cos^2 \varphi + 3 \cdot R \cdot I^2 \cdot \sin^2 \varphi \quad (1.12)$$

Dále pak poměr ztrát činné a jalové složky proudu:

$$\frac{\Delta P_Q}{\Delta P_P} = \frac{3 \cdot R \cdot I^2 \cdot \sin^2 \varphi}{3 \cdot R \cdot I^2 \cdot \cos^2 \varphi} = \operatorname{tg}^2 \varphi \quad (1.13)$$

Pomocí rovnice (1.9) lze spočítat, že ztráty způsobené jalovou složkou budou při  $\cos \varphi = 0,7$  rovné ztrátám činné složky. Při  $\cos \varphi = 0,5$  už ale ztráty jalové složky budou třikrát větší. V případě  $\cos \varphi = 0,3$  se ztráty zvýší až desetkrát. Udržíme-li však požadovanou velikost účinníku v rozmezí  $\cos \varphi = 0,95$  a vyšší, budou ztráty jalového proudu zhruba desetkrát menší než ztráty činné složky. [2]

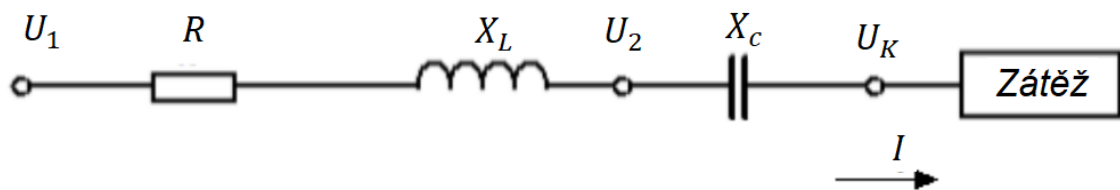


## 2. Možnosti kompenzace jalového výkonu

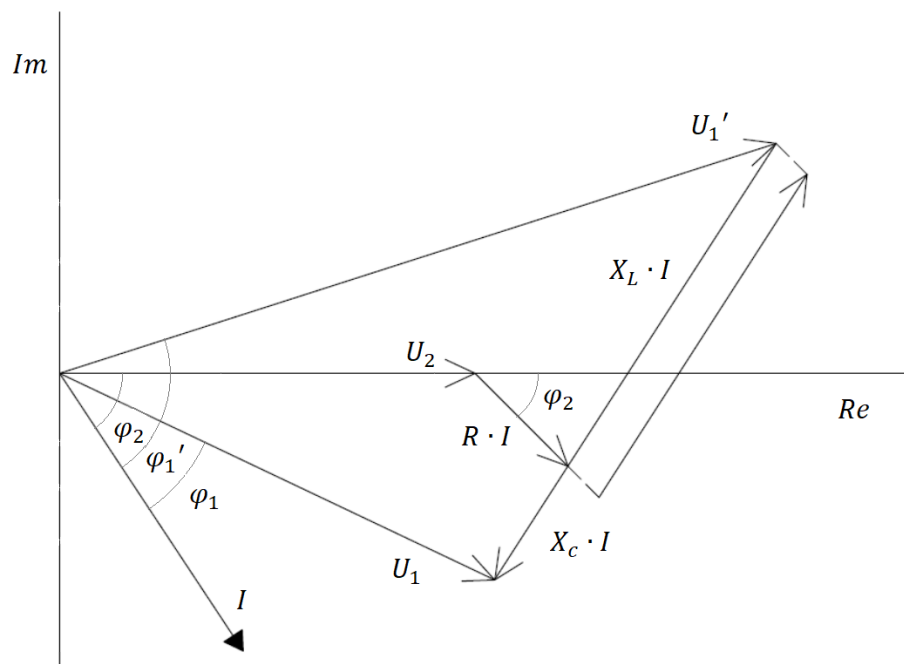
V této kapitole jsou rozebrány dvě základní možnosti, jakými lze kompenzovat, a to je paralelní a sériová kompenzace.

### 2.1 Sériová kompenzace

Tato možnost kompenzování je založena na zařazení kompenzátoru sériově do obvodu. Využívá se zejména u VVN a VN vedení [1], ale je nutné dodat že sériová kompenzace, nekompensuje účinník, ale elektrické parametry sítě.



Obr. 2.1 Schéma sériové kompenzace



Obr. 2.2 Vektorový diagram sériové kompenzace

Z Vektorového diagramu vyplívá vztah pro úbytek napětí

$$\Delta \bar{U} = \bar{U}_1 - \bar{U}_2 = [R + j \cdot (X_L - X_C)] \cdot (I \cdot \cos \varphi - j \cdot I \cdot \sin \varphi) \quad (2.1)$$

Následovně pak vyjádření reálné složky s lepší přesností

$$\Delta U = R \cdot I \cdot \cos \varphi + X_L \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (2.2)$$

Snížením reaktance sériovým kondenzátorem se sníží i úbytek napětí

$$\Delta U = R \cdot I \cdot \cos \varphi + (X_L - X_C) \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (2.3)$$

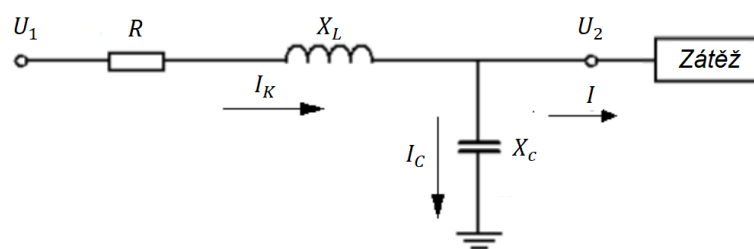
Po vykompenzování bude napětí za kondenzátorem

$$U_K = U_2 + X_C \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (2.4)$$

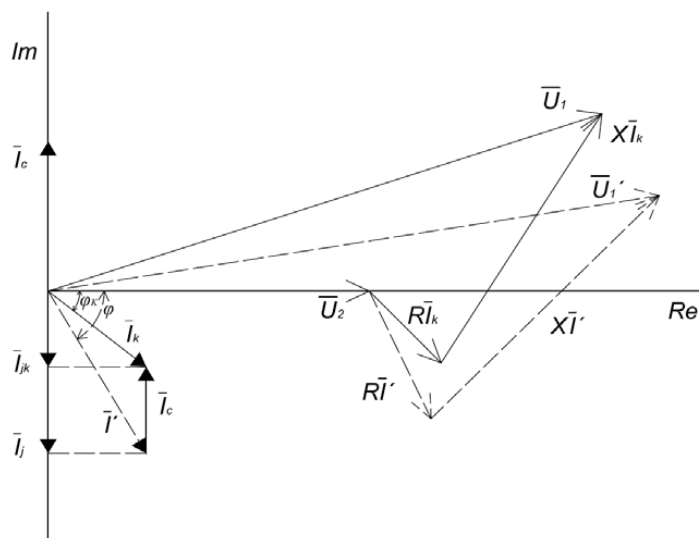
Funkcí sériového kondenzátoru může tedy být regulace napětí spotřebiče.

## 2.2 Paralelní kompenzace

Tento typ je nejvyužívanější. Kompenzační prostředek je připojen paralelně a dodává jalový výkon. Nejčastěji je používána kondenzátorová baterie, která by měla být připojena co nejbližší ke kompenzovanému zařízení, aby došlo k co nejefektivnějšímu vykompenzování. [1]



Obr. 2.3 Schéma paralelní kompenzace



Obr. 2.4 Fázorový diagram paralelní kompenzace

Při paralelním připojení kondenzátoru se vektor proudu změní z  $\bar{I}$  na  $\bar{I}_K$ . Vztah pro vyjádření výsledné velikosti proudu:

$$\bar{I}_K = \bar{I} + \bar{I}_C \quad (2.5)$$

Jestliže zůstává činný výkon konstantní, tak se po připojení kondenzátoru změní fázový posuv z hodnoty  $\varphi$  na  $\varphi_K$  a poměr jalové složky proudu  $I_{jK}$  a  $I_j$  bude stejný jako tangenty příslušných úhlů. Poměr těchto složek nazýváme koeficient kompenzace.

$$\frac{I_{jK}}{I} = \frac{\operatorname{tg} \varphi_K}{\operatorname{tg} \varphi} = k \quad (2.6)$$

Můžeme také určit stupeň kompenzace, který získáme odečtením koeficientu kompenzace od jedné:

$$k_p = 1 - k = \frac{I - I_{jK}}{I_j} = \frac{I_C}{I_j} = \frac{\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi_K}{\operatorname{tg} \varphi} \quad (2.7)$$

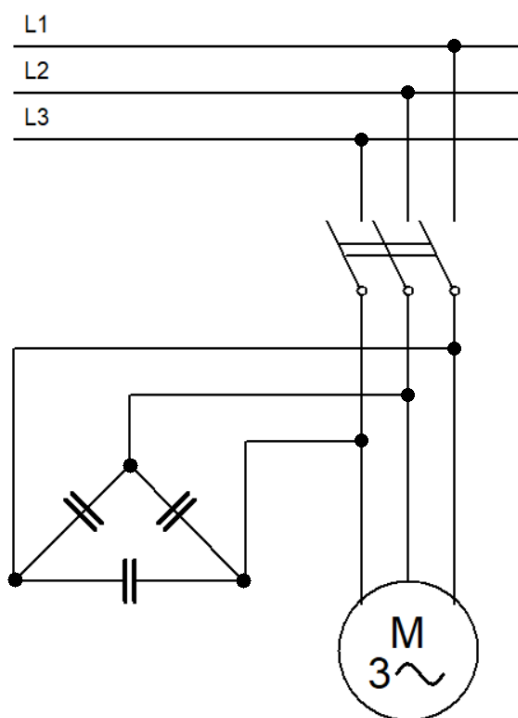
Pro výpočet výkonu kondenzátoru pro dostatečnou změnu fázového posunu z hodnoty  $\varphi$  na  $\varphi_K$ :

$$Q_C = U \cdot I_C = U_2 \cdot \omega \cdot C = P \cdot (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi_K) \quad (2.8)$$

## 3. Principy kompenzace

### 3.1 Individuální kompenzace

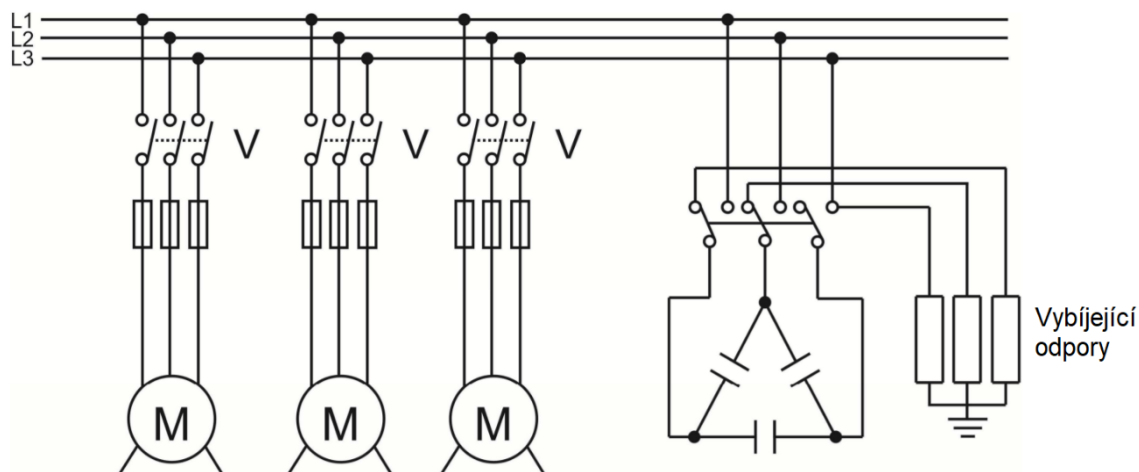
Tato kompenzace spočívá v připojení kompenzačního zařízení co nejblíže ke spotřebiči, nejlépe přímo na svorky. Hlavním důvodem je dosažení co největšího odlehčení jalového výkonu od zdroje ke spotřebiči. [1] Z ekonomického hlediska se tato kompenzace používá u zařízení s co největší, nejlépe trvalou dobou chodu, jako je kompenzování zářivkových svítidel nebo asynchronních motorů.



*Obr. 3.1 Individuální kompenzace*

### 3.2 Skupinová kompenzace

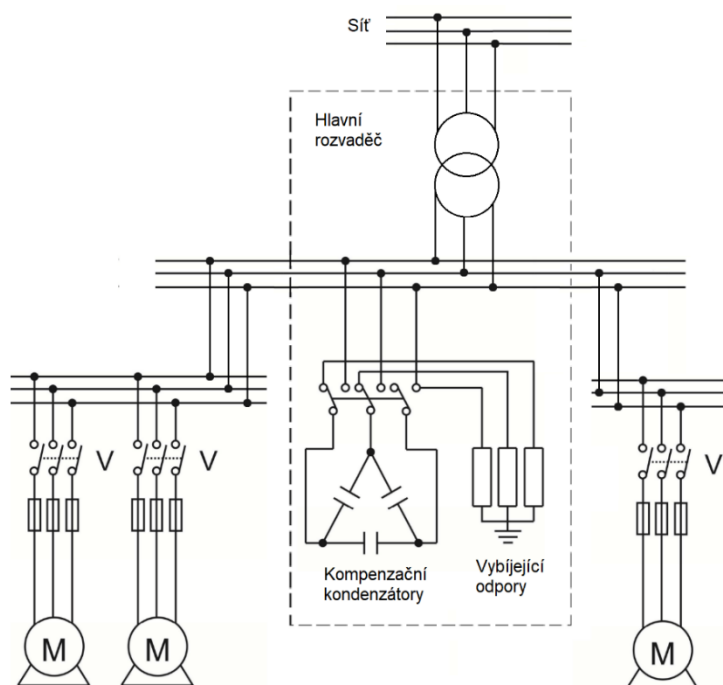
Kompenzující zařízení jsou připojena na svorkovnici v rozvaděči, na který jsou připojeny kompenzované spotřebiče. Může to být třeba kompenzace hlavních rozvaděčů VN/NN u průmyslových podniků. Při skupinové kompenzaci je od jalového výkonu odlehčen úsek vedení od rozvaděče ke zdroji. Důležitá výhoda této kompenzace je ekonomická úspora kompenzačních zařízení, protože není potřeba kompenzovat každý spotřebič zvlášť. Ovšem nevýhoda je nutnost připojení vypínačů a jistění k rozvaděči. [1]



Obr. 3.2 Skupinová kompenzace

### 3.3 Centrální kompenzace

Centrální kompenzace je uzpůsobena pro celkový odběr daného objektu a často je provedena u vstupních trafostanic průmyslových podniků. Kvůli změnám velikosti odebíraného jalového výkonu je potřeba automaticky dimenzovat a měnit velikost kompenzovaného výkonu. Vzhledem k vyšší úrovni napětí, bývají i náklady spojené s kompenzací vyšší. [1]



Obr. 3.3 Centrální kompenzace

### **3.4 Kombinovaná kompenzace**

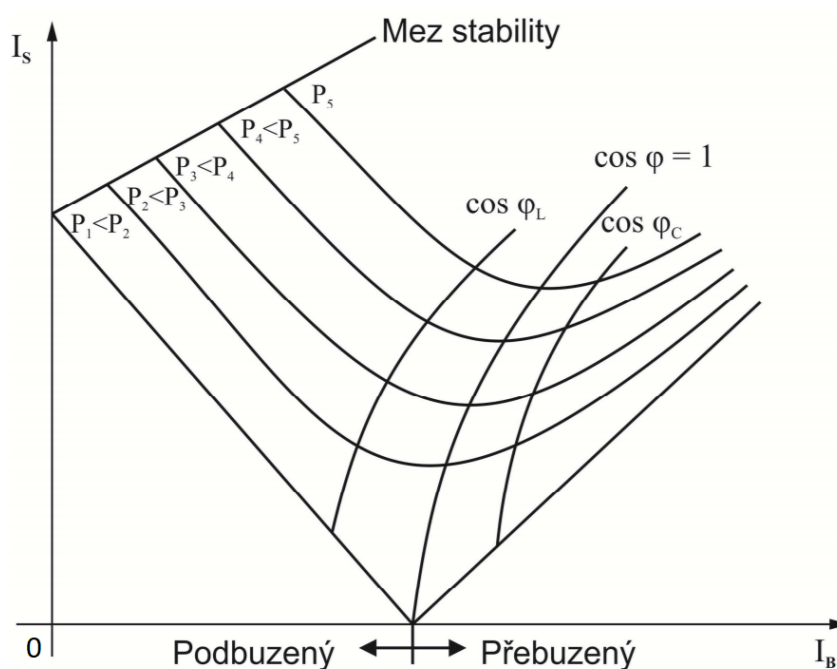
Tento typ zahrnuje všechny typy kompenzace, tak aby došlo k vytvoření co nejefektivnější kompenzaci jalového výkonu. U menšího počtu kompenzovaných zařízení, s kratším časem chodu, je spíše využívána skupinová kompenzace, kdežto u motoru s dlouhou dobou chodu, je využívána individuální. Dopředu nikdy nelze určit který typ je nejvýhodnější, proto je potřeba zohlednit efektivitu, ekonomickou a praktickou náročnost. [1]

## 4. Kompenzační prostředky

Tato kapitola je zaměřena na typy kompenzačních zařízení. Jejich principem a způsobem použití. V kapitole o statických kompenzátorech je vysvětleno několik způsobu výpočtu elektrických parametrů.

### 4.1 Rotační kompenzační zařízení

Do skupiny rotačních kompenzátorů se řadí synchronní kompenzátory - synchronní motory. Tyto elektrické stroje jsou specifické kvůli vytváření magnetické energie, které je dodána ze samostatného budicího vinutí, napájeného stejnosměrným proudem. Častý způsob využití je v místech, kde můžeme předpokládat stabilní zátěžný moment, jako u pohonu ventilátorů, kompresorů a čerpadel. Důležitým faktem zůstává, že při stálém napájecím napětí o stálém kmitočtu, můžeme změnou proudu budicího vnutí regulovat účinník odběru motoru, a to jak u induktivní nebo kapacitní oblasti. Charakteristikou mezi budícím proudem a proudem statoru při stálém výkonu jsou tzv. V-křivky. [1]



Obr. 4.1 V - křivky synchronního stroje

Budeme-li adekvátním způsobem řídit budící stejnosměrný proud, můžeme dosáhnout stálého účinníku. Pomocí regulátoru můžeme zajistit chod motoru i při změnách činného zatížení, buď s konstantním účinníkem, nebo s konstantním jalovým výkonem [1].

## 4.2 Statické kompenzační zařízení

Oproti rotačním kompenzačním zařízením nevyžadují statické kompenzátory odebrání jalové energie, protože jsou závislé pouze na činné energii. Výhodou mohou být nevyskytující se rotační části, které by byly vystaveny mechanickému opotřebení. Standardně jsou uloženy v rozvodných skříních. Mohou se lišit způsobem chlazení např. olej, voda nebo vzduch. Jsou určeny pro kompenzaci jalového výkonu a pro filtraci vyšších harmonických proudů a napětí.

### 4.2.1 Výkonové kondenzátory

Nejdůležitějšími vlastnosti výkonových kondenzátorů [1] je:

- Odolnost vůči přepětí.
- Dobrá tepelná stabilita při vysokém jalovém výkonu.
- Spolehlivý a bezpečný provoz.

Jalový výkon potřebný k dosažení požadovaného účinníku [3]:

$$Q_C = P \cdot [tg(\arccos(\cos \varphi_1)) - tg(\arccos(\cos \varphi_2))] \quad (4.1)$$

Celkový kapacitní výkon [1]:

$$Q_C = U^2 \cdot \omega \cdot C = U^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \quad [VAr; V, rad.s - 1, Hz, F] \quad (4.2)$$

Závislost kmitočtu na impedanci je důležitou vlastností kondenzátoru.

Kapacitní reaktance je jalovou složkou impedance a lze ji zapsat [1]:

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = [\Omega; rad.s - 1, Hz, F] \quad (4.3)$$



#### 4.2.1.1 Kondenzátory pro nízké napětí

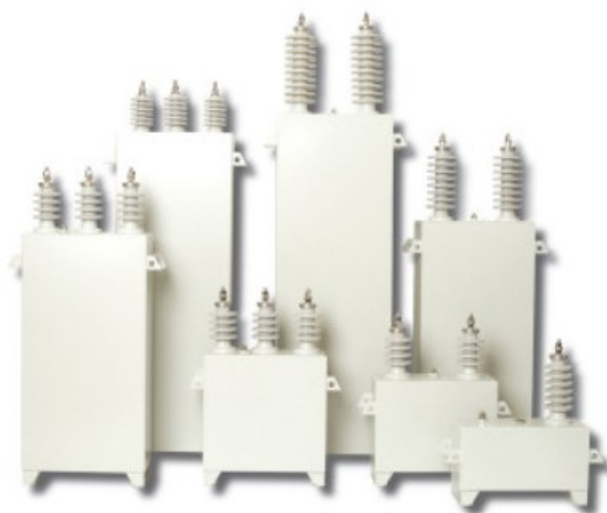
Kondenzátory pro NN napětí se vytváří pomocí technologie MKP, skládající se z metalizované polypropylénové fólie, která zaručí co nejnižší dielektrické ztráty. Výhodou je, že toto dielektrikum je samoregenerační a v suchém prostředí. Samotné kondenzátory jsou plněny netoxickou, ekologicky nezávadnou pevnou hmotou rostlinného původu s označením 3f CSADP, 1f CVADP nebo ekologicky nezávadným plynem označený 3f CSADG, 1f CVADG, u kterého nehrozí průsak impregnační kapaliny. Pomocí přetlakového odpojovače je kostra kondenzátoru chráněna proti roztržení. Odpojovač také zabezpečí odpojení kondenzátoru od sítě v případě přetížení, nebo pokud je kondenzátor na pokraji životnosti. Ve výbavě jsou také vybíjející rezistory [3]



*Obr. 4.2 Kondenzátory pro NN*

#### 4.2.1.2 Kondenzátory pro vysoké napětí

Dielektrikum pro kondenzátory vysokého napětí dielektrika je provedeno celofóliově. Dielektrikem je polypropylenová fólie impregnovaná syntetickou kapalinou, známou pod obchodním názvem Jarylec, která je zdravotně i ekologicky nezávadná. Elektrody tvoří hliníková fólie. Tato konstrukce zajišťuje velmi nízké ztráty kondenzátorů. Zapojení u třífázových jednotek do hvězdy a značí se „Y“, u jednofázových „I“. Jednotky mají vestavěny vnitřní vybíjející odpory snižující napětí na 75 V do 10 minut. [4]



*Obr. 4.3 Kondenzátory pro VN*

## 4.2.2 Tlumivky

S rychlým vývojem elektrotechniky roste množství nelineárních strojů a přístrojů, které jsou zdrojem vyšších harmonických proudů a proto je potřeba, tyto spotřebiče lépe a efektivněji kompenzovat. V této části budou rozebrány tlumivky ochranné, filtrační a dekompenzační.

### 4.2.2.1 Ochranné

Z kapitoly o klasických kondenzátorech (4.1) je patrné, že při růstu frekvence, klesá kapacitní reaktance a to má za důsledek nárůst efektivní hodnoty proudu. Dále se nebude přetěžovat pouze samotný kondenzátor, ale i úsek mezi kondenzátorem a zdrojem harmonických proudů a napětí. V případě že poměr instalovaného výkonu nelineárních spotřebičů vůči výkonu napájecího transformátoru v kompenzovaném obvodu přesahuje 15 %, jsou vyžadovány chráněné kompenzační sekce. Taktéž jsou tyto chráněné sekce využívány za předpokladu výskytu rezonančních jevů. [1]

Aby se zamezilo vytváření rezonančního jevu, je použit rezonanční obvod, skládající se z R, L, C prvků:



*Obr. 4.4 RLC rezonanční obvod*

V tomto zapojení je obvod schopný pracovat v širokém spektru kmitočtů, z nichž nejdůležitější je jmenovitý pracovní kmitočet  $f_n$  a rezonanční kmitočet  $f_r$ . [1]

Tyto dva kmitočty můžeme použít pro vyjádření:

Řádu harmonických při kterém nastává rezonance:

$$N_r = \frac{f_r}{f_n} \quad (4.3)$$

Dále činitel zatlumení:

$$p = \frac{1}{n_{2r}} \quad (4.4)$$

Použití Ochranné tlumivky je za předpokladu  $X_L \ll X_C$ , pak tedy:

$$X_L = -p \cdot X_C \quad (4.5)$$

U kompenzačních kondenzátorů nezáleží jestli jsou zapojené do Y nebo D, ovšem je jednodušší počítat s fázovým napětím a tedy s fázovými reaktancemi kondenzátorů ( $X_{CN}$ ) tlumivek ( $X_{LN}$ ) a fázovým napětím  $U_{fn}$ .

Potom bude reaktance kompenzační článku

$$X_{LC} = (1 - p) \cdot X_C \quad (4.6)$$

Reaktance kondenzátoru s patřičnou ochrannou tlumivkou bude při  $f < f_r$  v každém případě nižší, než počáteční reaktance kondenzátoru.

### **Omezení zapínacího proudového rázu**

Připojením kondenzátoru s nulovým napětím k síti, tedy kondenzátoru vybitého [1] dojde k proudovému přechodovému jevu, který se vyznačuje tlumeným kmitavým průběhem, jehož amplituda a kmitočet jsou dány velikostí napětí sítě, kapacitou kondenzátoru, okamžikem sepnutí a impedancí obvodu mezi připínaným kondenzátorem a zdrojem napětí. U těchto přechodových jevů není neobvyklé, když hodnota kmitočtu přesáhne 10 kHz a amplituda proudu přesáhne i stonásobek jmenovitého proudu  $I_n$ . Důsledkem toho jsou přístroje poškozovány např. opalováním kontaktů u stykačů, je snížena spolehlivost provozu zařízení s nižší elektromagnetickou odolností elektronických zařízení pro řízení a kontrolu výrobních technologií a telekomunikační techniky.

Řešením problematiky proudových rázů může být zvýšení impedance mezi připínaným a dosud připnutým kondenzátorem. To lze buď trvale nebo dočasně. V praxi můžeme trvalého zvýšení impedance dosáhnout pomocí tlumivky s feromagnetickým jádrem, nebo se vzduchovou mezerou.

### **Tlumivka s feromagnetickým jádrem**

S indukčností v jednotkách mH a ve spojení s kondenzátorem vzniká rezonanční obvod pro některé harmonické. Velikost indukčnosti lze nastavit konstrukcí magnetického obvodu, šířkou vzduchové mezery nebo vinutím.

### **Vzduchové cívky**

Jsou provedené stočením zapojovacích vodičů na průměru 80 – 100 mm, asi o deseti závitěch. Oproti tlumivkám s feromagnetickým jádrem mají nižší indukčnost, přibližně mezi 10 a 20  $\mu\text{H}$ .

### **Omezení rezonančních jevů**

Kompenzační kondenzátory [1] mohou rezonovat s indukčností  $L_s$  na kmitočtu stejném nebo blízkém některé harmonické.

Řád harmonické je roven

$$n = \frac{\omega}{\omega_1} = \frac{f}{f_1} \quad (4.7)$$

kde index 1 znamená základní harmonickou.

Kondenzátory společně s ochrannými tlumivkami tvoří sériový rezonanční obvod laděný na kmitočet mezi 150–250 Hz nebo 100–150 Hz. Kmitočet se schválně volí tak, aby nemohl dojít k rezonanci některých harmonických.

Z teoretického pohledu nejvíce vyhovuje kmitočet  $n_r \cong 2,5$ , který je ale pro tlumivky nevhodný kvůli váze, velikosti a ceně. Z tohoto důvodu je výrobcem volen kmitočet mezi 3 a 5 harmonickou. Z praktického hlediska je ideální kmitočet, který vychází z činitele rozladění (7 % - fr = 189 Hz; 14 % - fr = 134 Hz). Důležité je, aby nedocházelo k potlačení a ani rezonančnímu zdůraznění kmitočtu HDO. [1]

Tab. 4.1 Maximální obsahy harmonických napětí a proudu kompenzačních článků dle ČSN50160 [1]

Řád harmonické $n$	Kmitočet [Hz]	Obsah harmonických v napětí [%]	Obsah harmonických v proudu [%]	Poznámky
1	50	100	100	Základní harmonická
2	100	2	5,2	Výskyt netypický
3	150	5	37,8	Nevyskytuje se u symetrických zátěží
4	200	1	30,8	U svářecích strojů a obloukových pecí
5	250	6	37,2	Typická pro tyristorové měniče
6	300	0,5	8	Jen při poruchových stavech zařízení
7	350	5	13,4	Typická pro tyristorové měniče
HDO	$216^{2/3}$	1	7,8	Většina oblasti ČR
THD	100 – 2000	8	max. 80	Za předpokladu jen 3. a 5. harmonické
$\sqrt{\sum I_n^2}$	50 – 350	-	1,182	Koeficient pro výpočet max. efektivního proudu
$\sum I_n$	50 - 350	-	232	Při všech harmonických se překračuje THD

THD – Total Harmonic Distortion – přípustný efektivní obsah všech harmonických v napětí.

HDO – regulace odběru elektrické energie na dálku,

$\sqrt{\sum I_n^2}$  – poměrný efektivní proud (vztaženo k  $n = 1$ ),

$\sqrt{\sum I_n}$  – algebraický součet všech složek proudů (rozhoduje o rezervě pro magnetickou indukci  $B_M$ ).

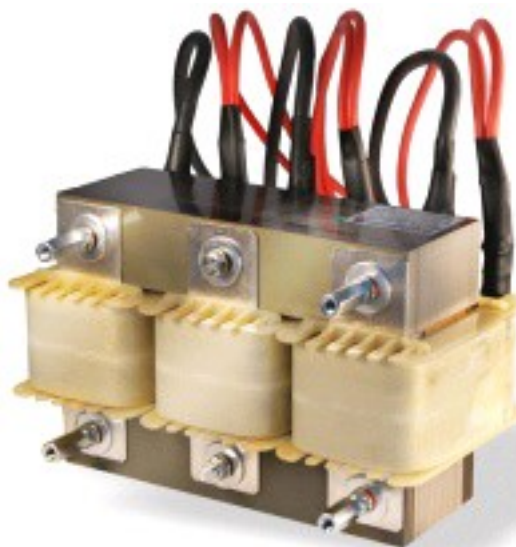
#### 4.2.2.2 Filtrační

Uvědomíme-li si, že je velice obtížné předpokládat velikost harmonických proudů, které bude potřeba z obvodů odfiltrout. Musí se filtrační tlumivky dimenzovat na nejhorší předpokládaný výskyt harmonických proudů. Proto jsou filtrační tlumivky oproti např. ochranným tlumivkám předimenzované a podstatně dražší. [1] I přes dominantní postavení chráněných kompenzátorů, je potřebné používat i filtr nastavený pro harmonické vyšších řádů.

#### 4.2.2.3 Dekompenzační

Použití dekompenzačních tlumivek v elektrických napájecích systémech je stejné jako použití kompenzačních kondenzátorů. Uplatní se v případě nadbytku kapacitního výkonu, který vzniká u dlouhých vedení, nebo u dlouhých nezatížených vedení v průmyslových rozvodnách, kdy dochází k překompenzování sítě a je nutné provést dekompenzaci. Tlumivky se zapojují do hvězdy paralelně k síti, nebo se instaluje několik tlumivek se stupňovitou regulací, řízené vhodným regulátorem, který dokáže spínat vysoký počet tlumivek, například regulátor NOVAR 1114. Dále se dekompenzační tlumivky používají při spojení s plynule řízenými kompenzátory jalového výkonu k plynulé, bezkontaktní kompenzaci. Tento způsob využití se uplatňuje u nízkého, ale především u vysokého napětí u kompenzátoru po elektrické obloukové pece.

Z hlediska konstrukce jsou dekompenzační tlumivky vytvořeny ze sloupců z orientovaných plechů, na kterých je umístěno hliníkové nebo měděné vinutí. Dále je také vhodně umístěna ochrana proti přehřátí a to v podobě tepelné pojistky



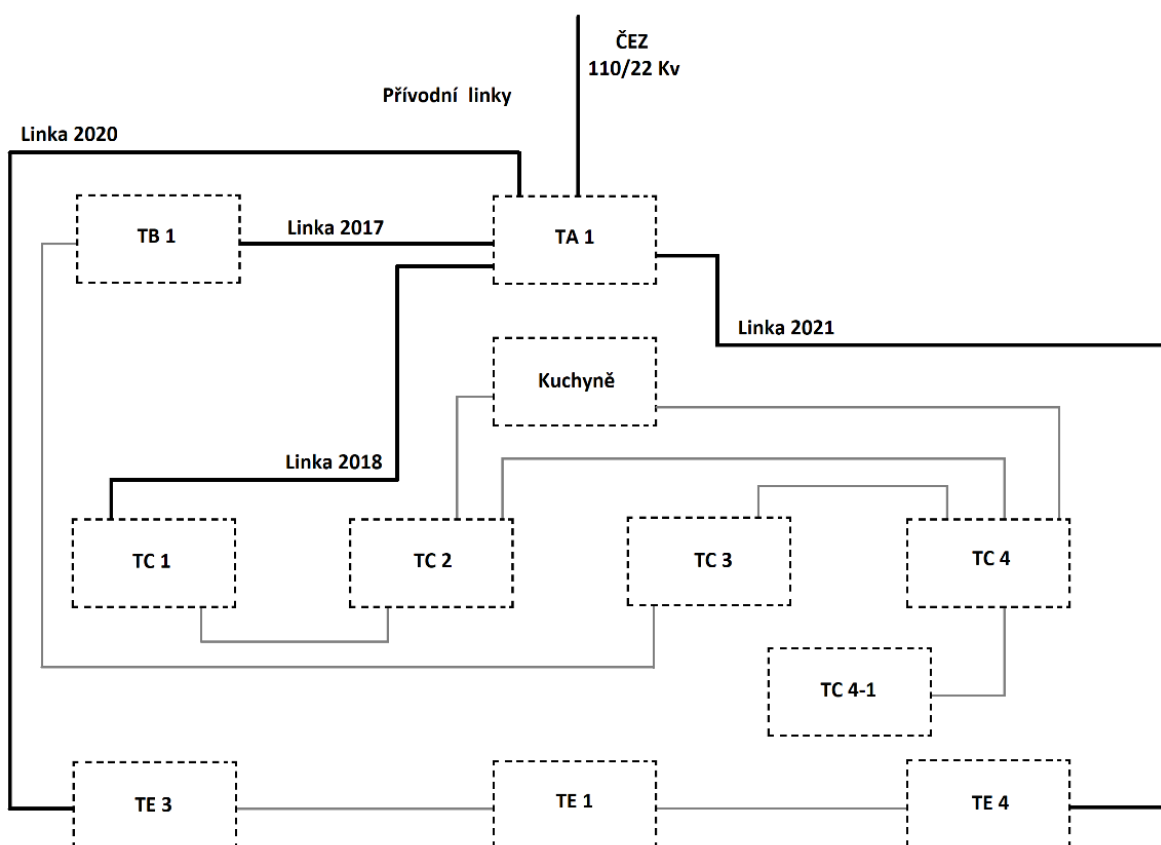
*Obr. 4.5 Dekompenzační tlumivka.*

## 5. Dekompensace jalové energie pro firmu Siemens

### 5.1 Zadání

Do závodu Siemens Elektromotory Mohelnice, je skrze hlavní rozvodnu TA1 dodána elektrická energie ze dvou linek společnosti ČEZ DISTRIBUCE na napěťové hladině 110kV, z nichž aktivní je vždy pouze jedna. V rozvodně TA1 je napětí převedeno na hladinu 22kV a dále přeneseno VN kabelem do rozvodnů TB1, TC1, TC3 a TC4, viz. (obr. č. 5.1). Rozvodny jsou vzájemně propojeny kabely 22 AXEKCY 3x (1x240mm<sup>2</sup>). Vzdálenosti kabelů mezi jednotlivými rozvodnami jsou uvedeny v tabulce č. 5.1 níže.

Hlavním úkolem je navrhnout vhodné řešení dekompenzace jalové energie, která by byla dodána zpět do veřejné sítě v případě přerušení odběru, nebo redukci činné energie v místě spotřeby - v areálu závodu.



Obr. 5.1 Schéma kabelových rozvodů Siemens elektromotory Mohelnice

Tab. 5.1 Kabelové vývody z rozvodny TA1 (SME Ostrava 110/22kV) do rozvoden SIEMENS Mohelnice

Označení VN linky	Odkud-kam	Délka (m)	Typ kabelu
2017	TA1-TB1	476	AXEKCY 3x (1x240)
2018	TA1-TC1	600	AXEKCY 3x (1x240)
2020	TA1-TE3	1303	AXEKCY 3x (1x240)
2021	TA1-TE4	988	AXEKCY 3x (1x240)

### 5.1.1 Charakteristika závodu Siemens, s.r.o., odštěpný závod Elektromotory Mohelnice

Mohelnický Siemens je jedním z předních výrobců nízkonapětových asynchronních elektromotorů v Evropě. Práci tu najde přes 2000 lidí a dalším stovkám vytváří pracovní místa díky zakázkám u regionálních dodavatelů. Každým dnem podnik vyrobí takřka 3,5 tisíce elektromotorů, které jsou určeny k pohonu především průmyslových zařízení, jako jsou například ventilátory, čerpadla, kompresory či obráběcí stroje. Asynchronní motory se vyrábějí v osových výškách 60 až 200 mm. Tímto rozsahem dokáže závod pokrýt většinu evropského trhu. [5]

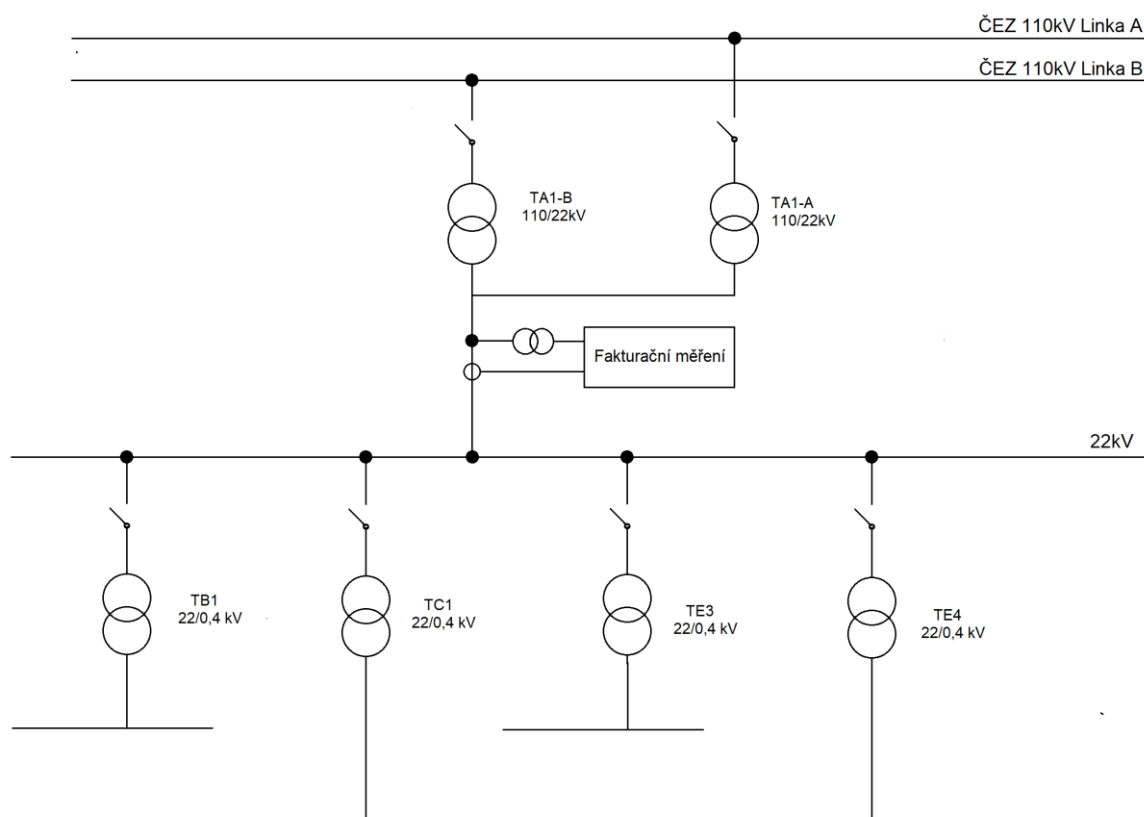
Počátky závodu sahají do roku 1904 kdy dne 30. 9. založil společnost Ludwig Doczekal & Comp pro výrobu elektrických zařízení. V roce 1924 došlo k uzavření smlouvy o vzájemném společenství se společností Siemens. Postupem času také došlo k vybudování vlastní slévárny a Mohelnický závod se stal více nezávislým na ostatních dodavatelích. Na začátku tisíciletí se Mohelnickému Siemensu připojilo logistické centrum firmy GEIS. Dále pak v roce 2008 došlo k převedení výroby motorů osové výšky 180 mm ze závodu Frenštát. Jedním z posledních větších rozšíření závodu, bylo otevření haly na výrobu speciálních a zákaznických provedení elektromotorů s vyšší náročností výroby, ke kterému došlo v roce 2012. [5]





*Obr. 5.2 Pohled na závod z ptáčích perspektivy*

### 5.1.2 Výchozí stav, Schéma zapojení trafo stanic



*Obr. 5.3 Schéma zapojení trafostanic závodu Siemens*

## **5.2 Rozbor – Analýza příčin a důvodů nevyžádané dodávky jalové energie do veřejné sítě.**

Hlavní problémem je velký výskyt zdrojů kapacitního výkonu. Vytvoření těchto výkonu je zapříčiněno dlouhým kabelovým vedením nebo dlouhým nezatíženým vedením, kde se kapacita zvyšuje v závislosti na délce, geometrickým uspořádání kabelu a velikosti napětí. V našem případě to jsou kapacity vznikající na linkách 2017, 2018, 2020, 2021, které vedou z hlavní rozvodny TA1. Tyto kapacity mohou zapříčinit, že dojde ke zvýšení nevyžádané dodávky kapacitního jalového výkonu zpět do veřejné sítě. Abychom mohli tuto nevyžádanou dodávku jalového energie eliminovat, je nutné k obvodu připojit dekompenzační tlumivku. Tlumivka má opačný charakter než kondenzátor, proto se jí říká dekompenzační.

V praxi se kapacitní nabíjející proudy pohybují v hodnotách jednotek ampér, což ale na hladinách vysoké napětí není nic zanedbatelného. V našem případě to znamená, že u kabelu AXEKCY (1x240), při napětí 22kV by jeden ampér měl odpovídat zhruba 38 kVAr jalového výkonu trojfázově. A proto abych si mohl být jistý výpočty kapacitních výkonů, vypočítal jsem i nabíjející proud. Pro samotné výpočty kapacitních výkonů jsem z katalogu firmy NKT určil jmenovité hodnoty kabelu AXEKCY (1x240) pro 22kV viz tabulka (5.2). Z těchto hodnot jsem spočítal dílčí kapacitu jednotlivých linek a následně celkovou kapacitu.

### **5.2.1 Energetický regulační věstník**

Podle věstníku energetického regulačního úřadu o cenovém rozhodnutí ze dne 20. listopadu 2018, kterým se stanovují ceny za související službu v elektroenergetice a ostatní regulované ceny, si za nevyžádanou dodávku jalové energie do sítě provozovatele distribuční soustavy účtuje provozovatel distribuční soustavy účastníkovi cenu za nevyžádanou dodávku jalové energie ve výši 440 Kč/MVArh. [6]

## 5.2.2 Popis kabelu AXEKCY

Je to jednožilový, celoplastový kabel s jádrem z hliníku. Izolaci tvoří zesítěný polyetylen. Využívá se pro rozvod kabelových vedení do 35 kV ve venkovním prostředí, uložení v zemi, pro vnitřní prostředí, anebo v kabelových kanálech. [7]



### Konstrukce:

- |                             |                                                         |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------|
| 1 Hliníkové jádro           | 5 Polovodivá páska                                      |
| 2 Vnitřní polovodivá vrstva | 6 Stínění měděnými dráty s protispíralou z měděné pásky |
| 3 Izolace ze zesítěného     | 7 Nevodivá páska                                        |
| 4 Vnější polovodivá vrstva  | 8 Vnější PVC plášť                                      |

Obr. 5.4 Popis kabelu AXEKCY

Tab. 5.2 Katalogové hodnoty kabelu AXEKCY 22kV společnosti NKT [7]

Počet x průřez žil/stínění (mm <sup>2</sup> )	Činný odpor při 20°C (Ω/km)	Kapacita (μF/km)	Indukčnost (mH/km)
1x240/25	0,125	0,3	0,56

### 5.2.3 Výpočet kapacit a kapacitního výkonu

Jelikož jsou linky mezi jednotlivými rozvodnami uloženy ve trojsvazku 3x(1x240 AXEKCÝ) je pro správné vyjádření celkové kapacity jedné linky, nutné tyto kapacity zohlednit-paralelně sečíst.

Příklad pro vyjádření celkové kapacity na trase TA1-TB1, linka 2017:

Kapacita jednoho kabelu linky 2017:

$$C_1 = C_{AXEKCÝ} \cdot l = 0,30 \cdot 0,476 = 0,1428 \mu F \quad (5.1)$$

Kapacita trojsvazku linky 2017, sečtena paralelně:

$$C_{2017} = C_1 + C_1 + C_1 = 0,1428 + 0,1428 + 0,1428 = 0,4284 \mu F \quad (5.2)$$

Pro získání celkové kapacity sečteme kapacity všech linek také paralelně:

$$\begin{aligned} C_{celkem} &= C_{2017} + C_{2018} + C_{2020} + C_{2021} = 0,4284 + 0,54 + 1,1727 + 0,8892 \\ &= 3,03 \mu F \end{aligned} \quad (5.3)$$

Kapacitní výkon jednotlivých linek:

$$Q_{2017} = U^2 \cdot \omega \cdot C_{2017} = 22000^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,4284 \cdot 10^{-6} = 65,1 \text{ kVAr} \quad (5.4)$$

$$Q_{2018} = U^2 \cdot \omega \cdot C_{2018} = 22000^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,54 \cdot 10^{-6} = 82,1 \text{ kVAr} \quad (5.5)$$

$$Q_{2020} = U^2 \cdot \omega \cdot C_{2020} = 22000^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 1,727 \cdot 10^{-6} = 178,3 \text{ kVAr} \quad (5.6)$$

$$Q_{2021} = U^2 \cdot \omega \cdot C_{2021} = 22000^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,0988 \cdot 10^{-6} = 135,2 \text{ kVAr} \quad (5.7)$$

Celkový kapacitní výkonu pak:

$$Q_{celkem} = U^2 \cdot \omega \cdot C_{celkem} = 22000^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 3,03 \cdot 10^{-6} = 460 \text{ kVAr} \quad (5.8)$$

Tab. 5.3 Výpočty kapacit a kapacitních výkonů jednotlivých linek

Trasa	Linka	Délka (m)	$C_v$ (μF)	$Q_c$ (kVAr)
TA1-TB1	2017	476	0,4284	65,1
TA1-TC1	2018	600	0,54	82,1
TA1-TE3	2020	1303	1,1727	178,3
TA1-TE4	2021	988	0,8892	135,2

A na závěr pro kontrolu výpočet nabíjecího proudu podle vztahu:

$$X_{C_{celkem}} = \frac{1}{\omega \cdot C_{celkem}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 3,03 \cdot 10^{-6}} = 1050,42 \, \Omega \quad (5.9)$$

$$I_{nab_{celkem}} = \frac{U}{X_{C_{celkem}}} = \frac{22 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1050,42} = 12,08 \, A \quad (5.10)$$

Nabíjecí proud odpovídá teoretickému předpokladu, a proto můžeme říci, že vypočtené kapacitní výkony jsou správné.

### 5.3 Vypracování – Návrh řešení způsobu kompenzace nevyžádané dodávky jalové energie.

#### Řešení č.1 Návrh dekompenzačního rozvaděče pro skupinovou kompenzaci

Skupinová dekompenzace je provedena v rozvodně TA1. Kvůli faktu, že žádná ze zavedených firem nevyrábí dekompenzační tlumivky na hladinu 22kV, bude potřeba k dekompenzaci pořídit transformátor 22/0,4 kV a dekompenzovat na hladině nízkého napětí. Tento transformátor bude označen jako TA1-DEK. Pro kompenzovaný výkon 460 kVAr jsem u výrobců kompenzačních rozvaděčů nenašel žádný, který by byl schopný spínat kompenzovaný výkon 460 kVAr s méně jak 10 stupni. Požadavek desíti spínaných stupňů vyplývá z prostudování trhu regulátorů, který ukázal, že žádný regulátor není schopný spínat právě více jak deset dekompenzačních tlumivek. Proto je navržen dekompenzační rozvaděč o výkonu 460kVAr s deseti stupňovitou regulací a to 9 stupňů o výkonu  $Q_L = 50\text{kVAr}$  a jeden stupeň o výkonu  $Q_L = 10\text{kVAr}$ .

### Návrh vhodných tlumivek:

Dekompenzační tlumivky pro nízké napětí jsou zapojovány do hvězdy. To znamená 400V sdružených a 230V fázových. Abychom byli schopni vybrat správnou dekompenzační tlumivku, je třeba dopočítat proud tlumivkou a její indukčnost.

$$I_L = \frac{Q_L}{\sqrt{3} \cdot U_S} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 14,4 \text{ A} \quad (5.11)$$

$$X_L = \frac{U_f}{I_L} = \frac{230}{9,021} = 15,9 \, \Omega \quad (5.12)$$

$$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{25,49}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 50,7 \text{ mH} \quad (5.13)$$

Těmto vypočteným hodnotám nejlépe odpovídají dekompenzační tlumivky od firmy DNA Energie, se jmenovitým proudem 14,4 A a indukčností 50,7 mH. Jejich další popis najdeme v následující tabulce.

Tab. 5.4 Dekompenzační tlumivky firmy DNA Energie [8]

Výkonová řada dekompenzačních tlumivek pro kompenzaci jalového výkonu kapacity dálkových napájecích kabelů						
Typové označení	Kompenzační výkon [KVar]	Indukčnost cívky L [mH]	Jmenovitý proud I <sub>n</sub> [A]	Připojení [mm <sup>2</sup> ]	Ztráty tlumivky dP <sub>max</sub> [W]	Oteplení dT [°C]
<a href="#">TDT-2,5 KVar / 400V</a>	2,5	203,7	3,6	4,0	72	66
<a href="#">TDR-5,0 KVar / 400V</a>	5	101,9	7,2	4,0	155	70
<a href="#">TDR-7,5 KVar / 400V</a>	7,5	67,9	10,8	4,0	200	70
<a href="#">TDR-8 KVar / 400V</a>	8	63,7	11,6	4,0	210	70
<a href="#">TDR-10,0 KVar / 400V</a>	10	50,9	14,4	4,0	200	68
<a href="#">TDR-12,5 KVar / 400V</a>	12,5	40,7	18	4,0	230	72
<a href="#">TDR-15,0 KVar / 400V</a>	15	34	21,7	4,0	350	70
<a href="#">TDR-20,0 KVar / 400V</a>	20	25,5	28,9	10,0	400	70
<a href="#">TDR-25,0 KVar / 400V</a>	25	20,4	36,1	10,0	450	72
<a href="#">TDR-30,0 KVar / 400V</a>	30	17	43,3	10,0	520	73
<a href="#">TLK-40,0 KVar / 400V</a>	40	12,7	57,7	10,0	610	70
<a href="#">TLK-50,0 KVar / 400V</a>	50	10,2	72,2	10,0	535	70

## Návrh vhodný odpínačů a pojistek:

Tlumivky budou jištěny samostatným pojistkovým odpínačem, který jsem vybral od firmy OEZ s dimenzováním do 160A a 690V. Výběr vhodných odpínačů najdeme v tabulce (5.5). Dále je nutné vybrat vhodnou nožovou pojistku. Z charakteru proudu procházející tlumivkou víme, že nejsou očekávány proudové rázy, protože proud na tlumivce postupně nabíhá. Pro výběr vhodných nožových pojistek jsem tedy vybíral pojistku s hodnotou nejbližší k jmenovité hodnotě proudu tlumivky, která je u prvního stupně 14,4A a dalších stupňů 72,2A. Pro tyto proudy jsou vhodné nožové pojistky PNA000 16 a 80 A s charakteristikou gG z katalogu firmy OEZ, který najdeme v tabulce (5.6).

Tab. 5.5 Pojistkové odpínače firmy OEZ [9]

ŘADOVÉ POJISTKOVÉ ODPÍNAČE				
Typ	FH000	FH00	FH1	
Jmenovitý pracovní proud $I_e$	160 A	160 A	250 A	
Jmenovité pracovní napětí $U_e$	690 V	690 V	690 V	
Tepelný proud se zkratovou propojkou $I_{th}$	240 A	250 A	325 A	
Kategorie užití	AC 400 V	AC-23B	AC-23B	
	AC 500 V	AC-22B	AC-22B	
	AC 690 V	AC-21B	AC-22B	
	DC 250 V	DC-22B	-	
	DC 440 V	-	DC-21B	
Velikost pojistkové vložky	000 (00C)	000 (00C), 00	1	
Připojení	Cu vodič 1,5 ÷ 50 mm <sup>2</sup>	M8	M10	

Kód	Typ	Počet pólů	Hmotnost [kg]	Balení [ks]
<b>FH000</b>				
OEZ:11899	FH000-1A/T	1	0,280	1
OEZ:12362	FH000-3A/T	3	0,280	1

Tab. 5.6 Nožové pojistky firmy OEZ [10]

Kód	Typ	Hmotnost [kg]	Balení [ks]
<b>PNA000</b>			
OEZ:40477	PNA000 6A gG	0,13	3
OEZ:40478	PNA000 10A gG	0,13	3
OEZ:40479	PNA000 16A gG	0,13	3
OEZ:40480	PNA000 20A gG	0,13	3
OEZ:40481	PNA000 25A gG	0,13	3
OEZ:40482	PNA000 32A gG	0,13	3
OEZ:40483	PNA000 35A gG	0,13	3
OEZ:40484	PNA000 40A gG	0,13	3
OEZ:40485	PNA000 50A gG	0,13	3
OEZ:40486	PNA000 63A gG	0,13	3
OEZ:40487	PNA000 80A gG	0,13	3
OEZ:40488	PNA000 100A gG	0,13	3
OEZ:40489	PNA000 125A gG	0,16	3
OEZ:40490	PNA000 160A gG*	0,16	3
* $U_n = AC 400 V$			

## Vhodné stykače pro dekompenzování

K sepnutí jednotlivých stupňů jsou zapotřebí stykače. Stykače pro dekompenzaci budou vybrány z řad stykačů pro spínání kondenzátorů. Oproti kondenzátorovým stykačům používaných u klasické kompenzace, nemusí být stykač pro dekompenzační tlumivku vybaven tlumicími odpory, protože jak už bylo popsáno u výběru pojistek, při průchodu proudu tlumivkou, nedochází k proudovým rázům, ale proud nabíhá postupně.

Pro výběr vhodných stykačů je nutné znát velikost spínaného výkonu, velikost proudu a napětí. Pro kompenzační stupeň 10kVAr pracující na hladině napětí 400V, nalezneme stykač od firmy Benedikt, jehož jmenovitý proud se vypočte:

$$I_{styk} = \frac{Q_{styk}}{\sqrt{3} \cdot U_s} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 14,4 \text{ A} \quad (5.14)$$

Tab. 5.7 Stykače pro kompenzaci firmy Benedikt [11]

Stykače pro spínání kondenzátorů (bez ochranných tlumivek)									
Technická data dle IEC 947-4-1, EN 60947-4-1, VDE 0660									
Hlavní kontakty	Typ	K3-18NK	K3-24K	K3-32K	K3-50K	K3-62K	K3-74K	K3-90K	K3-115K
Kategorie použití AC6b 3f spínání kondenzátorů bez tlumivek Okolní teplota ≤50°C Jmenovitý proud I <sub>o</sub>									
690V A		0-18	14-28	14-36	30-48	30-72	30-108	50-115	50-144
Jmenovitý spínaný výkon									
220-240V kVAr		0-7	5-11	5-14	12-20	12-28	12-33	20-45	20-55
380-400V kVAr		0-12,5	10-20	10-25	20-33,3	20-50	20-75	33-80	33-100
415-440V kVAr		0-13	10,5-22	10,5-27	23-36	23-53	23-75	36-82	36-103
500V kVAr		0-15	12-25	12-30	26-40	26-60	26-75	43-100	43-120
525V kVAr		0-15	12-25	12-32	26-43	26-64	26-80	45-105	45-125
660-690V kVAr		0-20	17-33	17-41	36-55	36-82	36-120	57-120	57-148
1000V kVAr		-	-	-	-	-	-	85-160	85-200

## Výběr vhodného regulátoru pro spínání dekompenzačních tlumivek

Regulátory jalového výkonu jsou zařízení, které slouží k řízení kompenzace, popřípadě dekompenzace jalového výkonu. Toho dosahují pomocí připínání a odpínání jednotlivých stupňů skrze reléové výstupy a stykače. Podstatou regulátorů je měnit velikost jalového výkonu v síti tak, aby byl dodržen požadovaný účinník. V praktickém provozu to znamená, že se regulátor snaží udržet vektor proudu v dovolených mezích v tzv. regulačním pásmu.

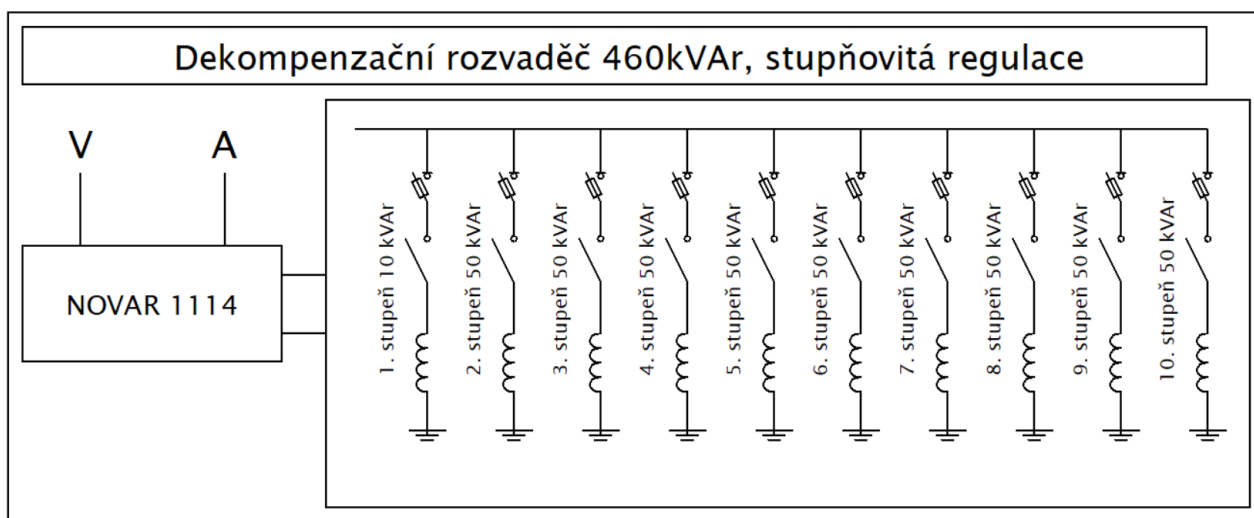


Pro náš případ dekompenzace s 10 stupni, jsem vybral regulátor NOVAR 1114 od firmy KBH [12], protože svými čtrnácti reléovými výstupy je schopený ovládat právě až 10 dekompenzačních tlumivek.

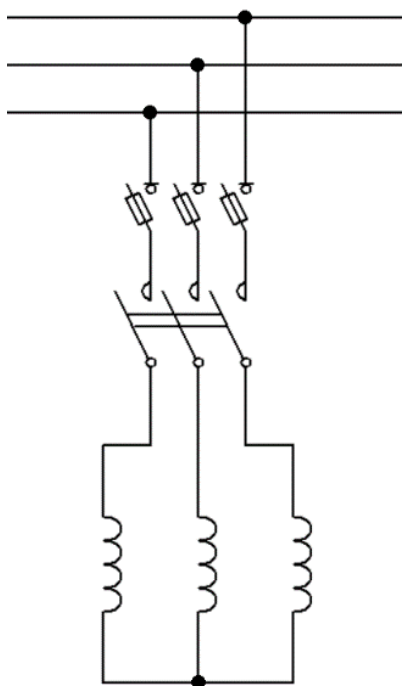


Obr. 5.5 Regulátor NOVAR 1114

NOVAR 1114 pracuje je zcela automatický regulátor, jeho podstatou je snaha připnout nebo odepnout jednotlivé stupně tak, aby bylo dosaženo požadovaného účínku s co nejmenším počtem kroků. Je vybaven přesným proudovým a napětovým měřicím obvodem a digitálním zpracováním hodnot. Další z funkcí je kontrola jednotlivých kompenzační stupňů během regulace. Nastane-li výpadek, nebo změna hodnot některých z těchto stupňů, bude tento stupeň dočasně vyřazen z regulace. Během vyřazení je stupeň periodicky testován a případně zařazen do zpět provozu.



Obr. 5.6 Dekompenzační rozvaděč pro skupinovou dekompenzaci v rozvodně TAI



Obr. 5.7 Zapojení jednoho kompenzačního stupně

### Výběr vhodné skříně

Vybral jsem oceloplechovou skříň od firmy ZEZ-SILKO s rozměry (1600x2250x650), která je za normálních podmínek určena pro 460 kVAr. Skříň má krytí IP 54, čímž odpovídá podmínkám instalace proti vniknutí jakoukoliv pomůckou a stříkající vodě ve všech směrech. Pro náš případ byl vybrán způsob připojení zespod, ale může být také řešen shora, nebo z boku. [13]

Tab. 5.8 Vybrané komponenty pro dekompenzační rozvaděč TA1-DEK

Rozvodna TA1	Kompen. výkon $Q_L$ (kVAr)	Jmenovitý proud (A)	Indukčnost (mH)	Počet stupňů	Řazení stupňů	Nožová pojistka (A)	Pojistk. Odpínač (A)	Stykač (kVAr)
Rozvaděč	460	216	-	10	1:5:5	PNA 000 gG	FN000	K3
1. stupeň	10	14,4	50,9	-	-	16	16	10-20
2 až 10 stupeň	50	14,4	50,9	-	-	80	80	20-75

## Řešení č.2 Individuální dekompenzace

Tento způsob zahrnuje dekompenzaci rozvoden TB1, TC1, TC3 a TC4 na napěťové hladině 400 V. Pro každou rozvodnu bude vybrán rozvaděč s co nejbližší hodnotou dekompenzovaného výkonů. I když bude dekompenzovaný výkon o něco větší, tak v případě kapacitního výkonu, musí být kvůli způsobu udělování sankcí dekompenzován veškerý výkon, viz. kapitola 5.3 ERU

V případě dekompenzace v rozvodně TB1 a TC1 jsou vybrány rozvaděče od výrobce rozvaděčů ZEZ-SILKO, pro TC3 a TC4 rozvaděče od RaP-Energo. Dekompenzační tlumivky, pojistkové odpínače, nožové pojistky a stykače jsou stejně jako ve skupinové dekompenzaci od stejných dodavatelů kterými jsou firmy DNA energie, OEZ a Benedikt. Vybrané komponenty pro jednotlivé rozvodny jsou v tabulkách níže. V případě regulátorů jsem zůstal u typu NOVAR 1114.

Tab. 5.9 Nabíjecí výkony jednotlivých linek

Trasa	Linka	$Q_C$ (kVar)
TA1-TB1	2017	65,14
TA1-TC1	2018	82,11
TA1-TE3	2020	178,31
TA1-TE4	2021	135,21

Tab. 5.10 Kompenzační rozvaděče ZEZ-Silko [13]

Typ	Komp. výkon $Q_N$ [kvar]	Proud $I_N$ [A]	Počet stupňů	Řazení stupňů	Základní stupeň [kvar]	Rozměry rozvaděče [mm]
QRN 40	40	57,7	4	1:1:1	10	600x800x315
QRN 43,8	43,8	63,2	4	1:2:2	6,25	600x800x315
QRN 48,4	48,4	70	5	1:2:4:8:16	1,5	600x800x315
QRN 50	50	72,2	3	1:2:2	10	600x800x315
QRN 60	60	86,6	4	1:1:1	15	600x800x315
QRN 70	70 TB1	101	4	1:2:2	10	600x800x315
QRN 80	80	115,4	4	1:1:1	20	600x800x315
QRN 87,5	87,5 TC1	126,3	4	1:2:2	12,5	600x800x315

Tab. 5.11 Kompenzační rozvaděče Rap-energo [14]

Typ rozvaděče výkon v kVar/počet stupňů	Spínání (kVar)	Rozměr skříně (vxšxh)mm	Počet polí	Jmenovitý proud (A)
Kompakt SK-100/6	5-10-15-20-20-30	2000x600x600	1	130
Kompakt SK-110/6	5-10-20-25-25-25	2000x600x600	1	145
Kompakt SK-120/6	5-10-20-25-30-30	2000x600x600	1	159
Kompakt SK-130/7	5-10-20-20-25-25-25	2000x600x600	1	173
Kompakt SK-140/7 TE4	5-10-20-20-25-30-30	2000x600x600	1	188
Kompakt SK-150/7	5-10-20-20-20-25-50	2000x600x600	1	202
Kompakt SK-180/8 TE3	5-10-20-20-25-25-25-50	2000x600x600	1	216
Kompakt SK-200/8	5-10-20-20-20-25-50-50	2000x600x600	1	260
Kompakt SK-225/8	5-10-10-20-30-50-50-50	2000x600x600	1	288

Tab. 5.12 Komponenty pro dekompenzační rozvaděč TB1 pro výkon 65,14 kVar

Rozvodna TB1	Kompenzační výkon $Q_L$ (kVar)	Jmenovitý proud (A)	Indukčnost (mH)	Počet stupňů	Řazení stupňů	Nožová pojistka (A)	Pojistk. odpínač (A)	Stykač (kVar)
Rozvaděč	70	101	-	4	1:2:2:2	PNA 000 gG	FN000	K3
1. stupeň	10	14,4	50,9	-	-	16	16	0-12,5
2. stupeň	20	28,9	25,5	-	-	32	32	10-25
3. stupeň	20	28,9	25,5	-	-	32	32	10-25
4. stupeň	20	28,9	25,5	-	-	32	32	10-25

Tab. 5.13 Komponenty pro dekompenzačního rozvaděč TC1 pro výkon 82,11 kVar

Rozvodna TC1	Kompenzační výkon $Q_L$ (kVar)	Jmenovitý proud (A)	Indukčnost (mH)	Počet stupňů	Řazení stupňů	Nožová pojistka (A)	Pojistk. odpínač (A)	Stykač (kVar)
Rozvaděč	87,5	126,3	-	4	1:2:2:2	PNA 000 gG	FN000	K3
1. stupeň	12,5	18	40,7	-	-	20	20	10-25
2. stupeň	25	36,1	20,4	-	-	40	40	20-33,3
3. stupeň	25	36,1	20,4	-	-	40	40	20-33,3
4. stupeň	25	36,1	20,4	-	-	40	40	20-33,3

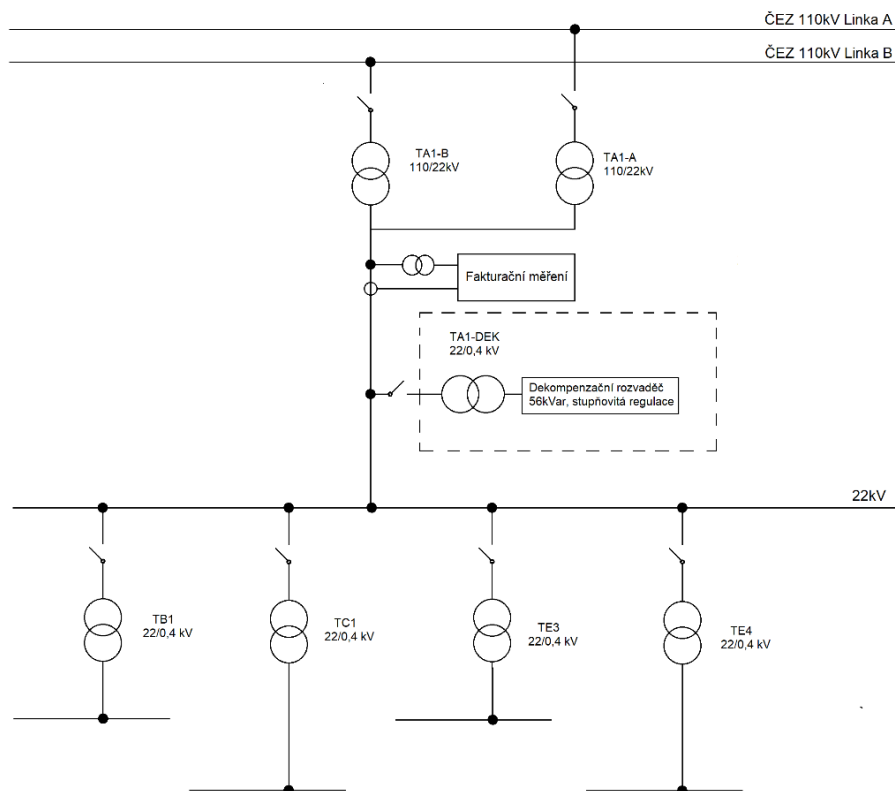
Tab. 5.14 Komponenty pro dekompenzační rozvaděč TE3 pro výkon 178,31kVar

Rozvodna TE3	Kompenz ační výkon $Q_L$ (kVar)	Jmenovitý proud (A)	Indukčnost (mH)	Počet stupňů	Řazení stupňů	Nožová pojistka (A)	Pojistk. Odpínač (A)	Stykač (kVar)
Rozvaděč	180	216	-	8	1:2:4:4: 5:5:5:10	PNA 000 gG	FN000	K3
1. stupeň	5	7,2	101,9	-	-	10	10	0-12,5
2. stupeň	10	14,4	50,9	-	-	16	16	0-12,5
3 a 4 stupeň	20	28,9	25,5	-	-	32	32	10-25
5 až 7 stupeň	25	36,1	20,4	-	-	40	40	20-33,3
8. stupeň	50	72,2	10,2	-	-	80	80	20-75

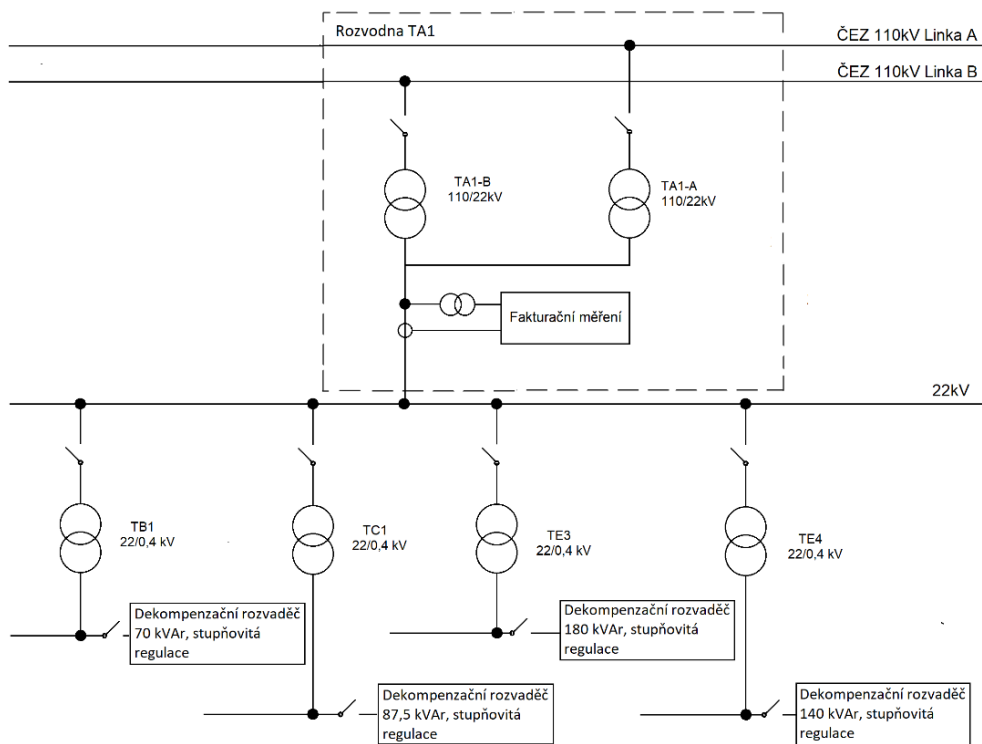
Tab. 5.15 Komponenty pro dekompenzační rozvaděč TE4 pro výkon 135,21kVar

Rozvodna TE4	Kompen. výkon $Q_L$ (kVar)	Jmenovitý proud (A)	Indukčnost (mH)	Počet stupňů	Řazení stupňů	Nožová pojistka (A)	Pojistk. odpínač (A)	Stykač (kVar)
Rozvaděč	140	188	-	7	1:2:4:4: :5:6:6	PNA 000 gG	FN000	K3
1. stupeň	5	7,2	101,9	-	-	10	10	0-12,5
2. stupeň	10	14,4	50,9	-	-	16	16	10-25
3 a 4 stupeň	20	28,9	25,5	-	-	32	32	10-25
5. stupeň	25	36,1	20,4	-	-	40	40	20-33,3
6 až 7 stupeň	30	43,3	17	-	-	50	50	20-33,3

## 5.4 Shrnutí – Stav po kompenzaci



Obr. 5.8 Schéma trafostanice se skupinovou dekompenzací



Obr. 5.9 Zapojení trafostanic s individuální dekompenzací

## 6. Závěr

V první části této bakalářské práce je vysvětlena teorie výkonů. Cílem bylo vysvětlit základní teoretické principy kompenzace, následně i jejich konkrétní technické řešení. Z teoretického hlediska se jako největší budoucností v energetice jeví chráněná kompenzace, a to z důvodu nárůstu počtu nelineárních prvků v elektrických obvodech. Proto je tento typ kompenzace nejvíce v teoretické části rozebrán. Dále jsou popsány dekompenzačními tlumivky, pro jejich využití v praktické části.

Úkolem praktické části bylo vyřešit problémy kapacitních výkonů, které vznikají na VN kabelech z rozvodny TA1, při přerušení odběru elektrické energie. Problém kapacitních výkonů je v této práci řešen z pohledu dvou typů kompenzací. Skupinová pro hlavní rozvaděč TA1 a jednotlivá pro podružné rozvaděče, které jsou s hlavním rozvaděčem propojeny kabelovými linkami. Při návrhu skupinové kompenzace nastal problém u tlumivek pro napětí 22kV, které jsem nenalezl v nabídce u žádného výrobce. Proto bylo nutné řešit kompenzaci na hladině nízkého napětí. V případě návrhu tlumivek na 22kV by musely být tyto tlumivky vyrobeny na zakázku, což by vedlo ke zvýšení finanční náročnosti tohoto projektu. Z tohoto důvodu jsem řešil dekompenzaci na nízké straně napětí a to dekompenzačním rozvaděčem o celkovém výkonu 460 kVAr se stupňovitou regulací. Návrh jednotlivé dekompenzace jsem se rozhodl realizovat pomocí kompenzačních rozvaděčů od firmy ZEZ-Silko a RaP-Energo, které byly osazeny dekompenzačními tlumivkami s příslušnými pojistkovými odpínači, pojistkami a stykači.

Skupinová dekompenzace se z ekonomického hlediska jeví mnohem výhodněji, a to z důvodu, že kapacitní výkon, tedy nevyžádaná dodávka jalového výkonu do sítě, je regulována přímo v místě instalace fakturačního měření, měření spotřeby a dodávky energie (ve čtyřech kvadrantech – dodávka i odběr, činná i jalová složka ve 24 hodinovém provozu). Kdežto u druhého řešení jsou linky vedení dekompenzovány v podružných rozvodnách a celkový výsledek dekompenzace v případě individuální dekompenzace nebude tak přesný jako u skupinového řešení. To by se projevilo na výši sankcí, které jsou za tuto nevyžádanou dodávku jalové energie účtovány. Nákupní ceny při skupinové dekompenzaci, i za předpokladu, že je nutné přikoupit transformátor pro snížení napětí na 400 V, jsou mnohem nižší, než u individuální dekompenzace. Neboť, při individuální dekompenzaci je třeba použít čtyřnásobek rozvaděčů, tlumivek, odpínačů, pojistek, stykačů i regulátorů.

Individuální dekompenzace by byla vhodná v případě, kdyby docházelo k přerušení odběru elektrické energie jen v některých z rozvodů TB1, TC1, TE3 nebo TE4, což se v našem případě neděje.

Kompenzace jalové energie stále zůstává důležitou součástí pro většinu průmyslových odběratelů, zejména proto, že se chtějí vyhnout sankcím a cenovým přírůzkám za elektrickou energii, dodanou zpět do sítě. Problematikou kompenzace dodávky nevyžádané jalové energie zpět do sítě se i nadále budou zabývat také distributoři elektrické energie, kteří řeší především technické důvody nevyžádané dodávky jalové energie. Jedná se především o ztráty na vedení a přetěžování elektrických sítí. Kompenzace jalové energie v budoucnu bude využívat více elektronických součástí spojených s rychlou a přesnou regulací kompenzačního výkonu, s důrazem na kvalitu elektrické energie.

## Použitá Literatura:

- [1] KORENC, Vladimír, HOLOUBEK, Jiří. Kompenzace jalového výkonu v praxi. 1. vydání. Praha: IN-EL, 1999. 123 stran. ISBN 80-86230-07-4.
- [2] HRADÍLEK, Zdeněk. Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1696-8.
- [3] ZEZ Silko [online]. 2019 [cit. 2019-25-03]. Kompenzační kondenzátory NN. Dostupné z <https://www.zez-silko.cz/cs/produkty/kompenzacni-kondenzatory-nn>
- [4] ZEZ Silko [online]. [cit. 2019-25-03]. Kompenzační kondenzátory VN. Dostupné z <https://www.zez-silko.cz/cs/produkty/kompenzacni-kondenzatory-vn>
- [5] Siemens, s.r.o., odštěpný závod Elektromotory Mohelnice. 2019 [cit. 2019-18-04]. Dostupné z [https://w5.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty\\_a\\_sluzby/OZ\\_Mohelnice/Pages/Elektromotory\\_Mohelnice.aspx](https://w5.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty_a_sluzby/OZ_Mohelnice/Pages/Elektromotory_Mohelnice.aspx)
- [6] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. Cenové rozhodnutí energetického regulačního úřadu č.1/2018 ze dne 30. Listopadu 2018 [online]. Dostupné z: [http://www.eru.cz/documents/10540/3899124/ERV\\_11\\_2018.pdf/121b4b0e-ba26-433d-b71d-3b00fbee228e](http://www.eru.cz/documents/10540/3899124/ERV_11_2018.pdf/121b4b0e-ba26-433d-b71d-3b00fbee228e)
- [7] NKT Katalog energetických kabelů [online]. [cit. 2019-25-03]. Dostupné z: [https://www.nkt.cz/fileadmin/user\\_upload/Products/Data\\_sheets/22-AXEKCY+DS+CZ+EN.pdf](https://www.nkt.cz/fileadmin/user_upload/Products/Data_sheets/22-AXEKCY+DS+CZ+EN.pdf)
- [8] ENERGIE DNA Dekompenzační tlumivky [online]. [cit. 2019-25-03]. Dostupné z: <http://energie.dna.cz/kompenzacni-tlumivky/dekompenzacni>
- [9] OEZ. Katalog pojistkových vložek [online]. [cit. 2019-25-03]. Dostupné z: <http://www.oez.cz/produkty/pojistkove-systemy-varius>
- [10] OEZ. Katalog pojistkových odpínačů [online] [cit. 2019-25-03]. Dostupné z: <http://www.oez.cz/produkty/pristroje-pro-spinani-a-ovladani-conteo>
- [11] BENEDICT. Stykače pro spínání kapacitních zátěží [online] [cit. 2019-26-03]. Dostupné z: <http://www.benediktcz.cz/images/produkty-podstranka-pdf/stykace-pro-spinani-kapacit.pdf>
- [12] ZEZ Silko - Regulátory jalové energie: NOVAR 1106/1114. [online] [cit. 2019-05-04] Dostupné z: <http://www.kbh.cz/produkty/novar>
- [13] ZEZ Silko [online] [cit. 2019-25-03]. Kompenzační rozvaděče-standart. Dostupné z <https://www.zez-silko.cz/cs/produkty/kompenzacni-rozvadece-standard>
- [14] RaP ENERGO [online] [cit. 2019-25-03]. Dostupné z: <http://www.rapenergo.cz/vyroba-rozvadecu/vyroba-kompenzacni-rozvadece-kompakt/vyroba-rozvadec-klasicky-nechraneny>